



Yumurta Kabuğu/Alümina Esaslı Kitosan İlaveli Biyoseramiklerin Karakterizasyonu

Eren Aksoy^{1*}, Beril Pınar Özler², Alara Hürzat³,
Yasemin Tabak²

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul, Türkiye
(ORCID: 0009-0000-1442-8970), aksoye20@itu.edu.tr

² TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Malzeme Teknolojileri Başkan Yardımcılığı, Kocaeli, Türkiye
ORCID:0000-0002-4912-8828, yasemin.tabak@tubitak.gov.tr
ORCID:0009-0008-6716-03804, berilpinarozler@gmail.com

³ Gebze Teknik Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye
(ORCID: 0009-0009-3461-7803), alara.hur@gmail.com

(İlk geliş tarihi: 18.12.2023, Düzenleme tarihi: 16.01.2024 ve Kabul tarihi: 15.02.2024)

(DOI: 10.29228/JCHAR.74247)

Sorumlu Yazar : Eren Aksoy, aksoye20@itu.edu.tr, İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İstanbul, Türkiye

Referans gösterme : E. Aksoy, “Yumurta Kabuğu/Alümina Esaslı Kitosan İlaveli Biyoseramiklerin Karakterizasyonu” *J Characterization*, cilt. 4, sayı. 1, Şubat, 1-9, 2024, doi:10.29228/JCHAR.74247

Öz

Bu çalışma, biyoseramik malzemenin geliştirilmesi amacıyla yumurta kabuğu ve alümina gibi doğal kökenli malzemelerin kullanılmasını ele almaktadır. Yumurta kabuğu, kitosan ve alümina, biyoseramik malzemenin ana hammadde kaynakları olarak seçilmiştir. Yumurta kabuğu, kalsiyum karbonat, magnezyum karbonat, fosfat ve organik maddeler içeren doğal bir malzemedir. Kitosan ise kitinin deasetilasyonu ile elde edilen polikasyonik özellikte bir biyopolimerdir. Deneysel çalışma kapsamında, 5 farklı biyokompozit reçetesi tasarlanmış ve bu reçetelere göre karışımlar hazırlanmıştır. Alümina, kitosan, yumurta kabuğu, β -trikalsiyum fosfat (β -TCP) ve selüloz içeren malzemeler kullanılarak elde edilen karışımlar, 30 bar basınçta hidrolik presle pelet haline getirilmiştir. Yapılan deneylerde, yumurta kabuğu, kitosan ve alümina içeren bir reçetenin (ES-03) en iyi ham mukavemet sonuçlarını verdiği tespit edilmiştir. Daha sonra, bu optimal reçeteye ait numunelere farklı sıcaklıklarda (1375°C-1400°C-1450°C-1475°C) sinterleme işlemi uygulanmıştır. Sinterleme sonrasında XRD, SEM analizi, yoğunluk, porozite ve su emme testleri yapılarak biyokompozit numuneler karakterize edilmiştir. Bu analizler, malzemenin yapısal ve fiziksel özelliklerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yumurta kabuğu, kitosan ve alümina içeren biyokompozit malzemenin biyoseramik uygulamaları için uygun bir seçenek olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyoseramik, Yumurta Kabuğu, Alümina, Karakterizasyon, Sinterleme.

Characterization of Eggshell/Alumina Based Chitosan Added Bioceramics

Abstract

This study discusses the use of natural-origin materials such as eggshell and alumina for the development of bioceramic materials. Eggshell, chitosan, and alumina were selected as the main raw material sources of bioceramic material. Eggshell is a natural material containing calcium carbonate, magnesium carbonate, phosphate, and organic substances. Chitosan is a polycationic biopolymer obtained by deacetylation of chitin. Within the scope of the experimental study, 5 different biocomposite recipes were designed and mixtures were prepared according to these recipes. The mixtures obtained using materials such as alumina, chitosan, eggshell, β -tricalcium phosphate and cellulose were turned into pellets using a hydraulic press (30 bar). In the experiments, it was determined that a recipe (ES-03) containing eggshell, chitosan, and alumina gave the best raw strength results. Then, the samples belonging to this optimal recipe were sintered at different temperature such as 1375°C-1400°C-1450°C-1475°C. After sintering, biocomposite samples were characterized by XRD, SEM analysis, density, porosity and water absorption tests. These analyzes were carried out to evaluate the structural and physical properties of the material. The results obtained show that biocomposite material containing eggshell, chitosan and alumina is a suitable option for bioceramics applications.

Keywords: Bioceramic, Egg Shell Powder, Alumina, Characterization.

1. Giriş

Biyoseramikler özellikle tıp ve dişçilik uygulamalarında, kas-iskelet sisteminin hastalıklı veya hasarlı kısımlarının onarımı ve yeniden yapılandırılmasında kullanılmak üzere tasarlanan bir seramik sınıfıdır. Biyoinert, emilebilir, biyoaktif veya doku büyümesi için gözenekli özelliklerine göre kategorize edilebilirler [1]. Biyoseramiklerin sentezi genellikle araştırmacının bilgisine, deneyimine ve sezgisine dayanır [2]. Bu malzemeler biyoyumlu doğaları, mükemmel fiziko-kimyasal özellikleri ile bilinir ve endodonti de dahil olmak üzere diş uygulamalarında yaygın olarak kullanılır [3]. Ayrıca, biyoseramikler tıbbi ve dental implantlarda hasarlı kemik dokularını değiştirmek veya onarmak için kullanılmıştır. Biyoseramiklerin sinterlenme süreçlerinin hücre içi sinyal iletimini etkilemesi nedeniyle bu malzemeler bilimsel çalışmaların ilgi odağı olmuştur [4]. Biyoseramikler ve biyocamların çeşitli tıbbi uygulamalar için biyoyumluluk göstermesi onları tıp ve dişçilik alanlarında kullanıma uygun hale getirmiştir [5]. Geleneksel olarak biyoseramikler, kemik ve diş kusurlarını doldurmak ve onarmak için kullanılmış olup tıbbi uygulamalardaki çok yönlülüğünün altını çizmektedir [6]. Biyoseramikler, çeşitli tıp ve diş hekimliği alanlarındaki potansiyel kullanımları nedeniyle biyomedikal mühendislik uygulamalarında büyük ilgi gören bir seramik malzeme sınıfıdır.

Yumurta kabuğu gibi doğal kaynaklardan biyoseramik üretimi araştırma konusu olmuştur [7]. Özellikle ördek yumurtalarından elde edilen yumurta kabukları, diş uygulamalarında kullanılan biyoseramik malzemelerin önemli bir bileşeni olan hidroksiapatitin sentezi için potansiyel kaynak olarak tanımlanmıştır [8,9]. Yumurta kabuklarının biyoseramik üretimi için kullanılması, yüksek kalsiyum içeriğine sahip olan hidroksiapatit gibi kalsiyum bazlı bileşiklerin ekstraksiyonunu içerir [9]. Ayrıca yumurta kabuğu nanoparçacıklarının biyolojik olarak parçalanabilir nanokompozitlere dahil edilmesi kompozit biyoseramik sistemlerde yumurta kabuğundan türetilen malzemelerin çok yönlülüğünü ortaya koymaktadır [10]. Yumurta kabuklarına ek olarak, biyoseramiklerin sentezi için salyangoz kabuğu gibi diğer doğal kaynakların da araştırılmış olması, biyomedikal uygulamalar için kullanılabilecek geniş doğal malzeme yelpazesine işaret etmektedir [11]. Yumurta kabuğu içerisindeki koruyucu bariyerlerin mevcudiyeti biyoaktif maddelerin taşınmasına ilişkin kontrollü madde salım uygulamaları için potansiyel kullanım varlığını göstermiştir. [12]. Genel olarak yumurta kabuklarının biyoseramik üretimi için kullanılması, tıp ve dişçilik alanlarında çeşitli uygulamalarla uygun maliyetli ve sürdürülebilir biyomalzemelerin geliştirilmesi için umut verici bir yol sunmaktadır. Yumurta kabuklarının soda kireç camı içerisinde kullanımına yönelik Aktaş ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada kullanılan yumurta kabuğunun kimyasal analizi yapılmış olup elde edilen sonuçlar doğrultusunda CaO içeriğinin %'ce 98.43'ünü oluşturduğu görülmüş olup kalan bileşenler ise SiO₂, Al₂O₃, K₂O, Fe₂O₃, MgO, MnO₂ ve Na₂O'dur [13]. Aktaş ve arkadaşlarının yapmış olduğu diğer bir çalışmada ise soda kireç camına yumurta kabuğu tozu katkı olarak ilave edilmiştir. Yumurta kabuğu katkılı camların X-ışını kırınım sonuçları katkı maddesi içeriğinde jips, nefelin, alünojen, aragonit, kristobalit vb. gibi farklı fazlar ortaya çıkmıştır Bu sonuçlar, saf soda-kireç-silika cam tozlarının X-ışını kırınım desenlerinden farklılık göstermiştir. Gözlemlenen fazlar arasında sodyum alüminyum silikat, sodyum alüminyum oksit ve silikon oksit vardır [14].

Kitosan, ikinci en bol doğal polimer olan kitinden kısmi deasetilasyon yoluyla elde edilen çok yönlü bir hidrofilik polisakkarittir. Kitosan deasetilasyon derecesi, moleküler ağırlık, viskozite ve pKa'ya bağlı olarak değişen bir dizi polimer içerir [15]. Kitosan geniş bir antimikrobiyal spektrum sergileyerek gram negatif, gram pozitif bakterileri ve mantarları etkilerine karşı oldukça duyarlı hale getirir [16]. Kitosan, antimikrobiyal fiber bazlı nanoyapıların geliştirilmesinde [17] ve metal iyonlarını, özellikle de ağır veya değerli metal iyonlarını bağlama kabiliyeti nedeniyle potansiyel bir tehlikeli atık iyileştirme malzemesi olarak kullanılmaktadır [18]. Ayrıca kitosan ve türevleri, endüstriyel atık suların kalan yağın temizlenmesi için de potansiyel sorbentler olarak araştırılmaktadır [19]. Ek olarak, büyüme faktörlerinin immobilizasyonunu kolaylaştırmak için kitosan türevlerinin sentezlenmesi biyomedikal uygulamalardaki potansiyelini ortaya koymaktadır [20].

Biyoseramikler, çeşitli biyomedikal uygulamalar için kitosan ile kombinasyon halinde kapsamlı bir şekilde incelenmiş olup yük taşıyan kemik implantları için kitosan süngerlerinin biyoseramiklerin gözenekleri içinde oluşturulduğu makro gözenekli kalsiyum fosfat biyoseramikleri geliştirilmesine ait çalışmalar bulunmaktadır [21]. Ek olarak, kitosana biyoseramik ilavesinin biyoaktivitesini ve osteokondüktivitesini artırdığı ve onu doku mühendisliği ve kemik rejenerasyonu için umut verici bir kompozit haline getirdiği gösterilmiştir [22]. Ravarian ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada kitosan, eklem kıkırdığı kusur onarımındaki uygulamalar için kalsiyum fosfat, hidroksiapatit ve diğerleri gibi biyoseramikler dahil olmak üzere çeşitli malzemelerle kompozit iskelelerde kullanılmıştır [23]. Li ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada kitosan bazlı biyokompozitler, biyolojik özellikleri ve kemik ikamesi olarak potansiyel kullanımları açısından araştırılmış ve kitosanın tıbbi uygulamalar için biyoseramik bazlı kompozitlerin bir bileşeni olarak uygunluğu vurgulanmıştır [24].

Suleman ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, kitosan ve hidroksiapatit karışımları, osteosarkomun hedefe yönelik tedavisi için hidrojeller elde etmek için kullanılmış olup, bu da kitosan bazlı biyoseramik kompozitlerin çeşitli tıbbi uygulamalardaki çok yönlülüğünü ortaya koymaktadır [25]. Genel olarak, kitosanın biyoseramiklerle kombinasyonu, bu kompozit malzemelerin olumlu özellikleri ve sinerjistik etkileri nedeniyle, doku mühendisliği, kemik rejenerasyonu ve hedefe yönelik tedaviler dahil olmak üzere çeşitli biyomedikal uygulamalar için büyük umut vaat etmektedir.

Deney kapsamında, beş farklı biyokompozit reçetesi tasarlanmış ve bu reçetelerde alümina (Al_2O_3), kitosan, yumurta kabuğu, selüloz kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar değirmende karıştırılmış ve ardından elde edilen karışımlar, hidrolik presle preslenerek pelet formuna getirilmiştir. Tüm reçeteler arasında en iyi sonuçları veren ES-03 kodlu reçeteye ait numunelere farklı sıcaklıklarda ($1375^{\circ}C$ - $1400^{\circ}C$ - $1450^{\circ}C$ - $1475^{\circ}C$) sinterleme işlemi uygulanmıştır. Bu numunelere XRD, SEM analizi, yoğunluk, porozite ve su emme testleri yapılarak biyokompozit numunelerin özellikleri karakterize edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada biyomalzeme geliştirmek için hammadde olarak alümina (Al_2O_3), öğütülmüş yumurta kabuğu tozu ve tri kalsiyum fosfat ($Ca_3(PO_4)_2$) kitosan ilave edilerek belirlenen reçeteler doğrultusunda hidrolik preste presleme yapıldıktan sonra elde edilen numuneler sinterlenmiştir. Sinterlenen numunelerin SEM, XRD ve EDS analizleri yapılarak karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir.

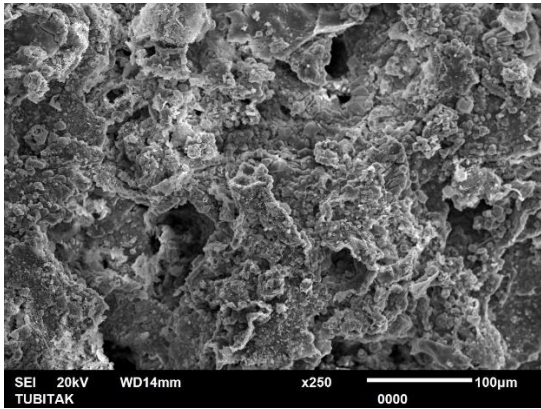
Reçete geliştirme çalışması çerçevesinde, toplamda 5 farklı formül oluşturulmuş ve bu formüller Tablo 1'de belirtilen reçetelere dayanarak üretim sürecine geçirilmiştir. Reçetelerde belirtilen hammadde miktarları kullanılarak homojen karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlar farklı karıştırma sürelerinde (5sa, 10sa, 12sa, 15 sa) karıştırılmak suretiyle homojenize edilmiştir. İdeal karıştırma süresi 12 saat olan numune grubuna ait olduğu saptanmasının ardından bu karışımlar, Glenmill marka yatay karıştırıcıda 12 saat boyunca titizlikle karıştırılmıştır. Akabinde, karışımlar 18 mm'lik disk kalıba dökülerek tek eksenli hidrolik presle 30 bar basınç altında pelet formuna getirilmiştir. Peletlere, fırında farklı sıcaklıklara ($1375^{\circ}C$ - $1400^{\circ}C$ - $1450^{\circ}C$ - $1475^{\circ}C$) sahip dört ayrı sıcaklık seviyesine çıkarılarak 1 saat sinterlenme işlemi uygulanmıştır. Sinterlenme sonrasında, elle tutulabilirlik açısından ham mukavemet dolayısıyla sinterlenebilirlik yönünden ES-03 kodlu reçetenin en uygun karışım olduğuna karar verilmiştir. Farklı sıcaklıklarda sinterlenen ES-03 kodlu reçetenin ürünleri, SEM, XRD, EDS yöntemleri kullanılarak karakterizasyon yapılmış ve ayrıca yoğunluk ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Karışımlarda Kullanılan Formülasyon Tablosu

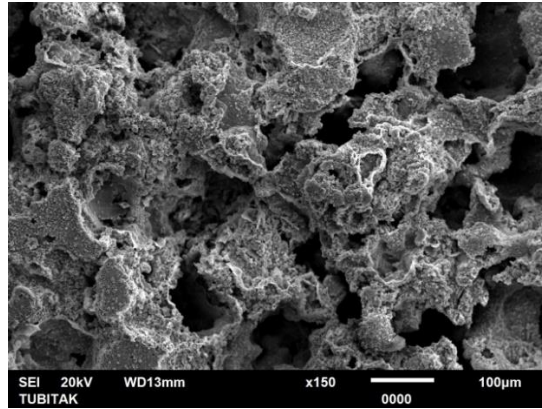
Reçete No	Alümina (g)	Yumurta Kabuğu (g)	Kitosan (g)	Trikalsiyum Fosfat (g)	Selüloz (g)
ES – 01	4	1	-	-	-
ES – 02	3	2	-	-	-
ES – 03	3	1,5	0.5	-	-
ES – 04	3	1	0.5	0,5	-
ES – 05	3	1	0.4	0,3	0,3

3. Bulgular ve Tartışma

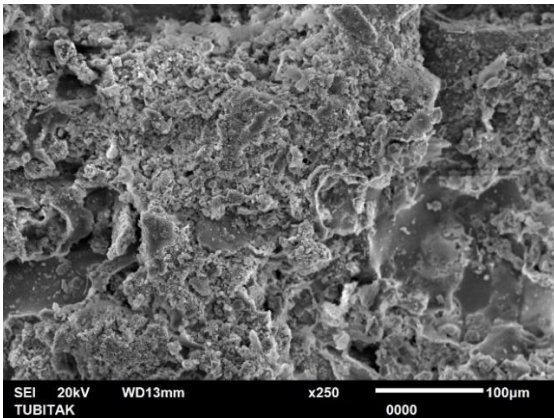
ES-03 kodlu reçete ile üretilen pelet yapıları, optimal sinterlenme sıcaklığını belirlemek amacıyla dört farklı sıcaklıkta sinterlenmiştir. Bu sinterlenme işlemi sonucunda elde edilen ürünler, XRD, SEM, EDS karakterizasyonları ile incelenmiş ve elde edilen bilgiler doğrultusunda ideal sinterlenme sıcaklığı belirlenmiştir. Farklı sıcaklarda sinterlenen ES-03 kodlu numunelere ait SEM görüntüleri Şekil 1’de verilmiştir.



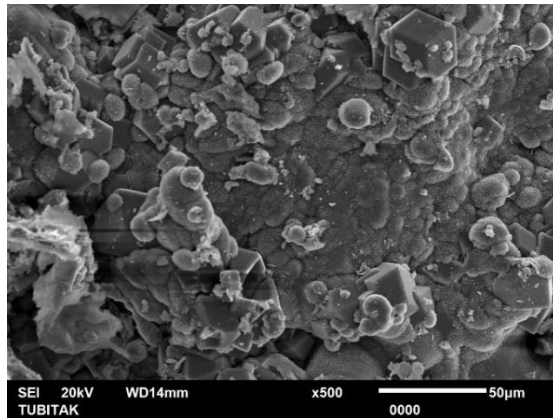
(a)



(b)



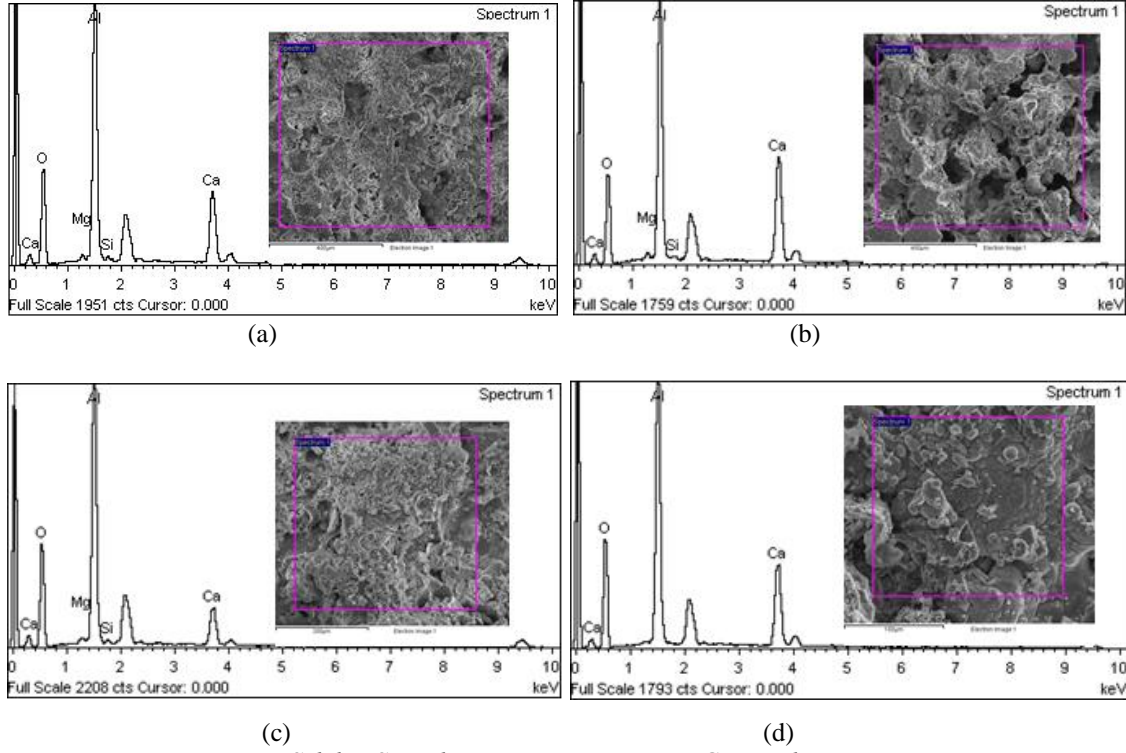
(c)



(d)

Şekil 1. Sinterlenmiş Numunenin SEM Görüntüleri
(a) 1375°C (b) 1400°C (c) 1450°C (d) 1475°C

SEM görüntülerinin incelenmesi sonucunda, farklı sinterleme sıcaklıklarında elde edilen numunelerin farklı yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 1 (a) (b) ve (c) incelendiğinde, sinterleme sıcaklığının artmasıyla birlikte daha az gözenekli bir yapı elde edildiği görülmektedir. Ancak, Şekil 1 (d)'de sinterleme sıcaklığının ergime noktasına yaklaşmasından dolayı homojenliğini kaybetmiş ve daha dağınık bir yapı elde edilmiştir. Şekil 2'de ise ES-03 kodlu numunenin farklı sıcaklıklarda sinterlenmesi sonucu EDS pikleri ve görüntüleri, Tablo 2'de ise EDS analiz sonuçları verilmiştir.

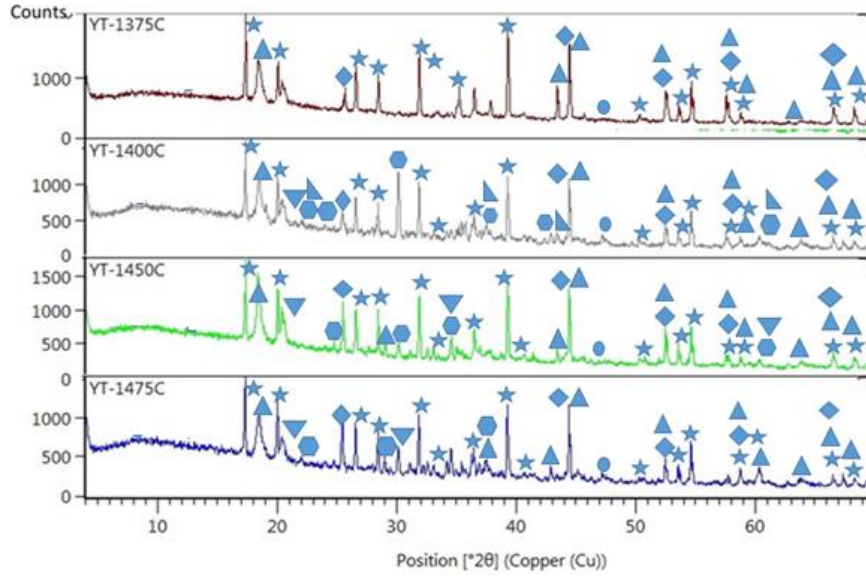


Şekil 2. Sinterlenmiş Numunenin EDS Görüntüleri
(a) 1375°C (b) 1400°C (c) 1450°C (d) 1475°C

Tablo 2. Farklı Sıcaklıklarda Sinterlenen Numunelerin EDS Analizi

Element	1375°C'de sinterlenen numune (kütlece %)	1400°C'de sinterlenen numune (kütlece %)	1450°C'de sinterlenen numune (kütlece %)	1475°C'de sinterlenen numune (kütlece %)
O	53.36	51.81	54.32	55.64
Mg	0.67	0.84	0.59	-
Al	30.43	27.81	35.00	28.92
Si	0.77	0.61	0.91	-
Ca	14.77	18.94	9.18	15.44

Tablo 2'de EDS analizinin test sonuçları aktarılmıştır. Farklı sıcaklıklarda sinterlenen ES-03 kodlu reçeteye göre hazırlanan karışımdaki elementlerin ağırlıkça oranları yaklaşık olarak aynıdır. Sinterlenme sıcaklığının artmasıyla birlikte Si ve Mg elementleri numunede tespit edilememiştir.



Şekil 3. Farklı Sıcaklıklarda Sinterlenen Numunelerin XRD Analizi

Tablo 3. Farklı Sıcaklıklarda Sinterlenen Numunelerin XRD Analizine ait semboller

Bileşik	PDF No	Simge
Amorf	-	-
Katoit, $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$	4-8-8343	★
Krotit, CaAl_2O_4	4-13-779	▼
Kalsiyum alüminyum oksit, CaAl_2O_4	1-90-2669	▲
Grosit, CaAl_4O_7	4-7-5095	⬢
Korondum, Al_2O_3	4-14-1368	◆
Alüminyum hidroksit, $\text{Al}(\text{OH})_3$	1-90-3206	▲

PANalytical X'Pert Pro MPD model XRD cihazı ile Cu X-Işını tüpü ($\lambda=1.5405$ Angstrom) kullanılarak yapılan XRD analiz sonucunda Şekil 3'te, elde edilen fazlar ise Tablo 3'te verilmiştir. 1375°C'de başlıca fazlar amorf yapı, korondum (Al_2O_3), alüminyum hidroksit $\text{Al}(\text{OH})_3$ ve katoit $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$ tir. 1400°C ve sonrasında bu fazlara ek olarak grosit (CaAl_4O_7) ve krotit $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$ fazları da bulunmaktadır. XRD ve EDS analizlerinin sonuçları birbirini desteklemektedir. Ayrıca elde edilen numunelere yoğunluk ve porozite ölçümleri (Tablo 4) TSE EN ISO 10545-3'e göre yapılmıştır [26].

Tablo 4. Farklı Sıcaklıklarda Sinterlenen Numunelerin Yoğunluk ve Poroziteleri

Numune	Yoğunluk (g/cm^3)	Porozite (%)
1375°C'de sinterlenen numune	1.63	40.55
1400°C'de sinterlenen numune	1.55	45.00
1450°C'de sinterlenen numune	2,63	41.60
1475°C'de sinterlenen numune	2,63	49.07

Yapılan karakterizasyon ve yoğunluk ölçümü sonucunda ES-03 kodlu reçetenin ideal sinterlenme sıcaklığının 1450°C olduğu saptanmıştır. 1450°C'de sinterlenen numunenin diğer numunelere göre daha yoğun, daha homojen ve daha az poroziteye sahip olduğuna karar verilmiştir. Elde edilen bulgulara dayanarak, sinterlenme sıcaklığının artışının, daha yüksek yoğunluktaki ürünleri beraberinde getirdiği gözlemlenmiştir (Tablo 3). Ancak, 1450°C'nin üzerine çıkıldığında, sinterlenme sıcaklığının 1475°C'e yükseltilmesiyle porozitenin arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, artan sinterlenme sıcaklığıyla birlikte malzemelerin ergime noktasına yaklaşılmasının,

daha dağınık ve poroz bir yapı elde edilmesine neden olduğunu göstermektedir. Yapılan karakterizasyon ve yoğunluk ölçümü analizleri sonucunda, ES-03 kodlu reçetenin optimal sinterlenme sıcaklığının 1450°C olduğu belirlenmiştir. Bu sıcaklıkta sinterlenen numunenin, diğer numunelere kıyasla daha homojen ve daha az poroziteye sahip olduğunu göstermiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışma, biyoseramik malzemelerin geliştirilmesi amacıyla yapılan reçete çalışmalarını içermektedir. Çeşitli reçetelerin hazırlanması ve sinterleme işlemleri sonrasında elde edilen numunelerin çeşitli karakterizasyon yöntemleri ile incelenmesiyle bir dizi önemli sonuç elde edilmiştir.

İlk olarak, ham mukavemet ve sinterlenebilme özellikleri açısından en elverişli reçetenin ES-03 kodlu reçete olduğu belirlenmiştir. Bu reçetenin seçilmesi, biyoseramik malzemelerin üretimi için uygun bir temel oluşturmaktadır.

Farklı sıcaklıklarda sinterlenen numuneler üzerinde yapılan XRD, SEM ve EDS analizleri, ideal sinterlenme sıcaklığının 1450°C olduğunu göstermiştir. Bu sıcaklıkta sinterlenen numunelerin daha homojen ve düşük gözenekli bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca, çalışma kapsamında yumurta kabuğu artıklarının geri dönüştürülerek toz halinde biyomalzemelerde hammadde olarak kullanılması hedeflenmiştir. Kitosan ilaveli yumurta kabuğu ve alümina (Al₂O₃) esaslı malzemelerin sentezi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Bu sonuçlar, biyoseramik malzemelerin üretiminde ES-03 kodlu reçetenin ve 1450°C sinterleme sıcaklığının öne çıkmasını sağlamaktadır. Elde edilen bulgular, biyomedikal uygulamalarda kullanılacak potansiyel malzemelerin geliştirilmesine yönelik önemli bir adım olarak değerlendirilebilir.

5. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK MAM -Malzeme Teknolojileri Başkan Yardımcılığı'nda yürütülmekte olan 120N266 kodlu "Biyoaktivitesi Arttırılmış Fonksiyonel Derecelendirilmiş Silisyum Nitrür Malzemelerin Geliştirilmesi" projesi ve bu projeye bağlı alt proje olan TÜBİTAK 2248-Mentorluk Desteği Programı'na ait 123C014 kodlu projenin çıktılarını içermektedir. Çalışma kapsamındaki finansal desteğinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Etik Standartların Beyanı

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

Çıkar Çatışması

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Kaynaklar

[1] Hench, L., Bioceramics: from concept to clinic, "Journal of the American Ceramic Society", 74(7), 1487-1510, 1991. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1991.tb07132.x>

[2] Motojima, K., Shiratsuchi, R., Suzuki, K., Aizawa, M., Kaneko, H., Machine learning model for predicting the material properties and bone formation rate and direct inverse analysis of the model for new synthesis conditions of bioceramics, "Industrial Engineering Chemistry Research", 62(14), 5898-5906, 2023. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.3c00332>

[3] Wang, Z., Shen, Y., Haapasalo, M., Antimicrobial and antibiofilm properties of bioceramic materials in endodontics, "Materials", 14(24), 7594, 2021. <https://doi.org/10.3390/ma14247594>

- [4]Jung, Y., Kim, J., Kim, S., Chung, S., Wie, J., Development of cellular signaling pathways by bioceramic heat treatment (sintering) in osteoblast cells, “*Biomedicines*”, 11(3), 785, 2023. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11030785>
- [5] Mishra, V., Srivastava, S., Asthana, B., Kumar, D., Structural and spectroscopic studies of hydroxyapatite nanorods ^[1]formed via microwave-assisted synthesis route, “*Journal of the American Ceramic Society*”, 95(9), 2709-2715, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2012.05134.x>
- [6] Baino, F., Novajra, G., Vitale-Brovarone, C., Bioceramics and scaffolds: a winning combination for tissue engineering, “*Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*”, 3, 2015. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2015.00202>
- [7] Ekren, N., Gunduz, O., Celik, S., Sahin, Y., Chou, J., Ben-Nissan, B., Oktar, F., Production of apatite from snail shells for biomedical engineering applications, “*Key Engineering Materials*”, 696, 51-56, 2016.
- [8] Sabir, A., Abbas, H., Aminy, A., & Asmal, S., Analysis of duck eggshells as hydroxyapatite with heat treatment method, “*Eureka Physics and Engineering*”, (4), 16-24, 2022. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002017>
- [9] Sabir, A., Abbas, H., Amini, A., Asmal, S., Characterization of duck egg shells and bioceramic materials in making denture applications, “*Top Conference Series Materials Science and Engineering*”, 1088(1), 012116, 2021.
- [10] Mousavi, S., Esmaeili, H., Arjmand, O., Karimi, S., & Hashemi, S., Biodegradation study of nanocomposites of phenol novolac epoxy/unsaturated polyester resin/egg shell nanoparticles using natural polymers, “*Journal of Materials*”, 1-6, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/131957>
- [11] Sahin, Y., Gunduz, O., Bulut, B., Ozyegin, L., Gökçe, H., Ağaoğulları, D., Oktar, F., Nano-bioceramic synthesis from tropical sea snail shells (tiger cowrie - cypraea tigris) with simple chemical treatment, “*Acta Physica Polonica A*”, 127(4), 1055-1058, 2015.
- [12] Bordunova, O., Самохіна, Є., Хмельничий, Л., Повод, М., & Вечорка, В., Zoohygienic characteristics of biotechnological methods of metabolism regulating of chickens embryo in the process of incubation, “*Bulletin of Sumy National Agrarian University the Series Livestock*”, (1(44)), 36-41, 2021. <https://doi.org/10.32845/bsnau.lvst.2021.1.5>
- [13] Aktas, B., Albaskara M., Yalcin, S., Dogru, K., Optical Properties of Soda–Lime–Silica Glasses Doped with Eggshell Powder, *Special issue of the 3rd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN 2016)*, “*Acta Physica Polonica A*,” 132, 3, 2017. DOI: 10.12693/APhysPolA.132.442
- [14] Aktas, B., Albaskara M., Dogru, K., Yalcin, S., Mechanical Properties of Soda–Lime–Silica Glasses Doped with Eggshell Powder, *Special issue of the 3rd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN 2016)*, “*Acta Physica Polonica A*,” 132, 3, 2017. DOI: 10.12693/APhysPolA.132.436
- [15] Singla, A. and Chawla, M., Chitosan: some pharmaceutical and biological aspects - an update, “*Journal of Pharmacy and Pharmacology*”, 53(8), 1047-1067, 2001. <https://doi.org/10.1211/0022357011776441>
- [16] Goy, R., Britto, D., & Assis, O., A review of the antimicrobial activity of chitosan, “*Polímeros*”, 19(3), 241-247, 2009. <https://doi.org/10.1590/s0104-14282009000300013>
- [17] Torres-Giner, S., Ocio, M., Lagarón, J., Development of active antimicrobial fiber-based chitosan polysaccharide nanostructures using electrospinning, “*Engineering in Life Sciences*”, 8(3), 303-314, 2008. <https://doi.org/10.1002/elsc.200700066>
- [18] Tang, X., Tan, S., & Wang, Y., Study of the synthesis of chitosan derivatives containing benzo-21-crown-7 and their adsorption properties for metal ions, “*Journal of Applied Polymer Science*”, 83(9), 1886-1891, 2001. <https://doi.org/10.1002/app.2316>

- [19] Hassan, A., Abdullah, M., & Khalik, W., Removal of residual oil from palm oil refinery factory effluent by chitosan and its derivatives, "*Asian Journal of Chemistry*", 30(1), 76-80, 2017. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2018.20908>
- [20] Kim, K., Lee, J., Ito, Y., Kang, J., Song, K., Jang, E., Son, T., Preparation of photo-reactive azidophenyl chitosan derivative for immobilization of growth factors, "*Journal of Applied Polymer Science*", 117(5), 3029-3037, 2010. <https://doi.org/10.1002/app.32179>
- [21] Zhang, Y. and Zhang, M., Three-dimensional macroporous calcium phosphate bioceramics with nested chitosan sponges for load-bearing bone implants, "*Journal of Biomedical Materials Research*", 61(1), 1-8, 2002. <https://doi.org/10.1002/jbm.10176>
- [22] Ravarian, R., Craft, M., Dehghani, F., Enhancing the biological activity of chitosan and controlling the degradation by nanoscale interaction with bioglass, "*Journal of Biomedical Materials Research Part A*", 103(9), 2898-2908, 2015. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.35423>
- [23] Li, H., Hu, C., Yu, H., Chen, C., Chitosan composite scaffolds for articular cartilage defect repair: a review, "*RSC Advances*", 8(7), 3736-3749, 2018. <https://doi.org/10.1039/c7ra11593h>
- [24] Przekora, A. and Ginalska, G., Biological properties of novel chitosan-based composites for medical application as bone substitute, "*Open Life Sciences*", 9(6), 634-641, 2014. <https://doi.org/10.2478/s11535-014-0297-y>
- [25] Suleman, A., Kondiah, P., Mabrouk, M., Choonara, Y., The application of 3d-printing and nanotechnology for the targeted treatment of osteosarcoma, "*Frontiers in Materials*", 8, 2021. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.668834>
- [26] TS EN ISO 10545-3, Seramik karolar - Bölüm 3: Su emme, görünür gözeneklilik (porozite), görülür bağlı yoğunluk ve birim hacim kütlelerinin tayini (ISO 10545-3:2018)